

Variación de las coordenadas de color de placas de cartón-yeso con el ángulo de observación

Plaster board's colour coordinates change versus observation angle

Ana Paula Alonso⁽¹⁾, Joaquín Campos^(2,*S), Rafael González⁽¹⁾, Alicia Pons^(2,S) y Antonio Corróns^(2,S)

1. Departamento de Construcción y Tecnologías Avanzadas, Escuela Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid, Av. Juan de Herrera, 4. Ciudad Universitaria. CP.28040. Madrid.

2. Departamento de Metrología, Instituto de Física Aplicada (CSIC), c/ Serrano 144. CP 28006. Madrid.

* Email: joaquin.campos@ifa.cetef.csic.es

S: miembro de SEDOPTICA / SEDOPTICA member

Recibido / Received: 16 – Nov – 2007. Versión revisada / Revised version: 7 – Mar – 2008. Aceptado / Accepted: 12 – Mar – 2008

RESUMEN:

En este trabajo se analiza el cambio del color con el ángulo de observación de muestras de cartón-yeso iluminadas en la dirección normal a superficie de la muestra. Para ello se ha medido la distribución espectral de la radiancia emitida mediante un espectro-gonio-fotómetro construido y diseñado en el Instituto de Física Aplicada (CSIC). Se han estudiado muestras de cartón-yeso estándar y pintadas, encontrándose diferente comportamiento entre ellas, si bien todas divergen del difusor perfecto. Las diferencias de color encontradas son todas perceptibles, proviniendo de un cambio de claridad para los ángulos de observación más próximos al de incidencia y de un cambio de claridad y croma para los ángulos más alejados.

Palabras Clave: Distribución Espacial, Factor de Radiancia, Placas de Cartón-Yeso, Coordenadas de Color.

ABSTRACT:

Colour coordinates change of plaster card-board versus observation angle under normal illumination is analysed in this job. Spectral radiance distribution has been measured at different observation angles by using a spectro-gonio-photometer designed and built at the Instituto de Física Aplicada (CSIC). Standard plaster card-board samples as well as painted ones have been studied. Their angular distribution is different but they differ from the perfect diffuser in all cases. Colour differences found are perceptible, coming from a brightness change at the smaller angles and from a brightness and chroma change at the largest angles apart from the incidence.

Key words: Spatial Distribution, Radiance Factor, Plaster Board, Colour Coordinates.

REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] A. Baker, K. Franchiotti, K. Steemers, *Daylighting in Architecture: a European Reference Book*, Commission of the European Communities, Directorate-General XII for Science Research and Development (1993).
- [2] F. E. Nicodemus, J. C. Richmond, J. J. Hsia, I. W. Ginsburg, T. Limperis, "Geometrical considerations and nomenclature for reflectance", National Bureau of Standards (NBS) monograph 160 (NBS, 1977).
- [3] [http:// www.knauf.es](http://www.knauf.es)
- [4] Publication CIE 130-1998, "Practical methods for the measurement of reflectance and transmittance".
- [5] G. T. Fraser, C. E. Gibson, H. W. Yoon, A. C. Parr, "Once is enough in radiometric calibrations", *J. Res. Natl. Inst. Stan.* **112**, 39-51 (2007).
- [6] Publication CIE 15:2004, "Colorimetry".

1. Introducción

Los paneles de cartón yeso están siendo muy utilizados hoy en día como materiales de construcción dentro del espacio arquitectónico, sustituyendo así los sistemas denominados “tradicionales” como los tabiques de cerámica, enlucidos de yeso, etc.

La selección de un material adecuado es muy importante, en particular, en el diseño de un ambiente luminoso para sentirse cómodo en él. En este sentido, se debe prestar una atención especial a la distribución espacial de su reflectancia [1]. Sin embargo, pocos fabricantes proporcionan información sobre el comportamiento de las propiedades reflectantes de paramentos de interiores verticales y horizontales. El objetivo de este trabajo es medir la distribución espectral en el intervalo visible del espectro de la radiancia de placas de cartón-yeso a distintos ángulos de observación, manteniendo la iluminación constante. Estas medidas son sólo un primer paso para comparar este material con el difusor perfecto y conocer la magnitud de la variación del factor de reflectancia. Para que los datos sean útiles en el cálculo de ambientes luminosos es necesario conocer la función de “scattering” bidireccional completa [2], trabajo que se acometerá más adelante.

El estudio y análisis de la distribución espectral y angular de la luz reflejada es complejo, pues lleva asociado muchos datos. Por este motivo se utiliza en este trabajo las coordenadas de color asociadas a cada distribución espectral de radiancia y se estudia el cambio de estas coordenadas en lugar del de la distribución espectral en sí, que sería más farragoso. Al mantener constante el sistema de iluminación, los cambios en las coordenadas cromáticas están correlacionados directamente con los cambios en la distribución espectral.

Por otra parte, las placas de cartón-yeso estándares no se utilizan como tal en ambientes interiores, sino que se emplean pintadas. Por este motivo se ha medido también el factor de reflectancia de esas placas pintadas con una pintura plástica de diferentes colores, que es lo habitual para este tipo de material.

2. Muestras y medidas

2.a. Muestras

Las muestras elegidas para este trabajo consisten en trozos de 5 cm × 5 cm, aproximadamente, cortados de placas de cartón-yeso estándares y placas de cartón-yeso con acabado en vinilo de la marca Knauf. Las placas de vinilo se están utilizando mucho en ambientes interiores (techos) debido a su

facilidad de limpieza, mientras que las placas de cartón-yeso se utilizan para tabiques y trasdosados de muros [3]. Éstas generalmente se pintan, por lo que se han medido varias muestras pintadas en los tonos que se utilizan habitualmente en ambientes interiores y de decoración (blanco, azul, verde, gris, amarillo y rojo). Se ha usado una pintura plástica a base de dispersiones acrílicas para interiores, que también es habitual en esos ambientes. Los colores de las pinturas son todos de acabado mate. En la Fig. 1 se muestran, a modo de ejemplo, tres de las muestras medidas.

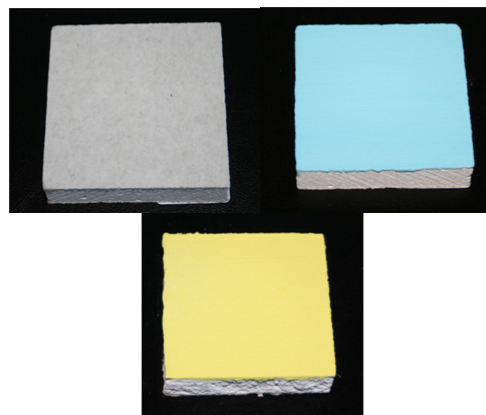


Fig. 1. Algunas de las muestras de cartón-yeso medidas: estándar sin pintar (arriba izquierda) y muestras pintadas.

2.b. Medidas

Se ha medido la radiancia espectral de las muestras según las recomendaciones de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) [4], mediante un goni-espectrofotómetro diseñado y construido en el Instituto de Física Aplicada (Fig. 2). Las muestras se iluminaron en incidencia normal mediante un haz colimado de luz, produciendo una iluminación uniforme con una temperatura de color correlacionada de aproximadamente 3000 K, obtenida con un sistema óptico y una lámpara de incandescencia con halógenos. Para mantener la irradiancia constante, se usó alimentación eléctrica estabilizada y se midió la irradiancia varias veces a lo largo del proceso. Asimismo, al objeto de poder calcular las coordenadas de color, se midió la radiancia espectral producida para el ángulo de acimut de 45 ° por un patrón blanco cuyo factor espectral de radiancia es conocido en esas condiciones.

La radiancia de las muestras se midió con un espectrorradiómetro Minolta CS 1000 en los ángulos de acimut $\pm 10^\circ$, $\pm 20^\circ$, $\pm 30^\circ$, $\pm 45^\circ$, $\pm 60^\circ$ y $\pm 75^\circ$. El ángulo de cenit era 0° . El ángulo mínimo de acimut (10°) venía dado por la configuración del sistema de

iluminación y el tamaño del espectrorradiómetro. El ángulo sólido de medida de la radiancia era 1°. Cada muestra se ha medido una vez, ya que el tiempo total de medida de cada muestra es largo. No obstante, dada la estabilidad y repetitividad del sistema, método y procedimiento de medida el realizar un mayor número de medidas no influye de forma significativa en la incertidumbre de los resultados [5].

A partir de estas medidas se calcula el factor de radiancia $\beta(0^\circ:\alpha x)$ para cada ángulo de acimut (α), mediante la ecuación:

$$\beta(0^\circ:\alpha x) = \frac{L_m^{0^\circ:\alpha x}}{L_p^{0^\circ:45^\circ x}} \beta_p(0^\circ:45^\circ x), \quad (1)$$

donde $\beta_p(0^\circ:45^\circ x)$ es el factor de radiancia del patrón utilizado, $L_m^{0^\circ:\alpha x}$ es la radiancia medida para cada muestra y $L_p^{0^\circ:45^\circ x}$ es la radiancia medida para el patrón blanco en la dirección de acimut de 45°.

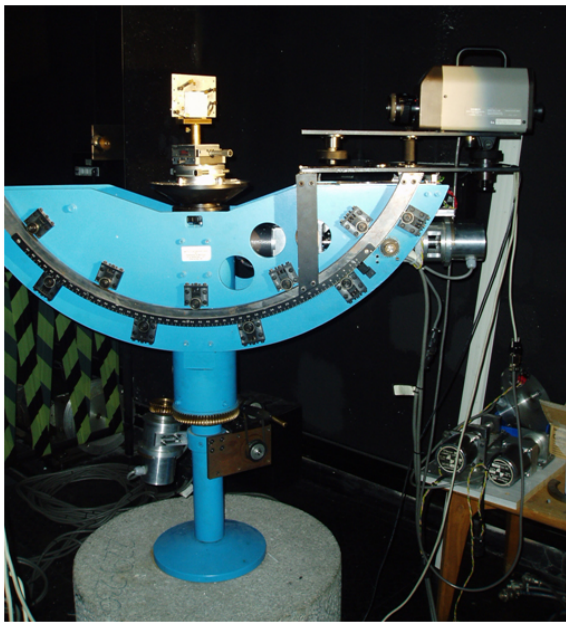


Fig. 2. Equipo utilizado para la realización de las medidas (gonio-espectrofotómetro).

3. Resultados

En la Fig. 3 se muestra la distribución espectral relativa de la radiancia medida para una muestra de cartón-yeso estándar iluminada normalmente como se indica en el apartado anterior y observada desde distintos ángulos. Se advierte un valor máximo de la radiancia en la dirección de la iluminación, así como la diferencia con el difusor perfecto, cuya representación sería una línea horizontal paralela al eje del ángulo de observación, ya que el difusor

perfecto, por definición, presenta radiancia constante para todos los ángulos de observación y refleja toda la radiación incidente independientemente de su distribución espectral. También se observa en la Fig. 3 que el cambio de radiancia es mayor para las longitudes de onda más cortas.

En la Fig. 4 se muestran los resultados de las mismas medidas para la muestra con acabado en vinilo. Cabe destacar que en este caso se observa una distribución espacial diferente, pues aparece una zona entre 20° y 40° en la que la radiancia es más constante que en el caso de la placa de cartón-yeso, produciéndose una caída abrupta al aumentar el ángulo. Asimismo la radiancia en el caso del vinilo está más atenuada en la zona de longitudes de onda cortas que en el caso estándar, como corresponde a las propiedades de reflexión del material.

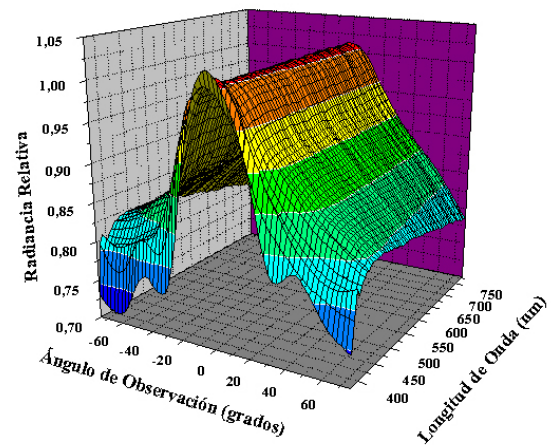


Fig. 3. Radiancia espectral relativa de la placa de cartón-yeso estándar en función del ángulo de observación.

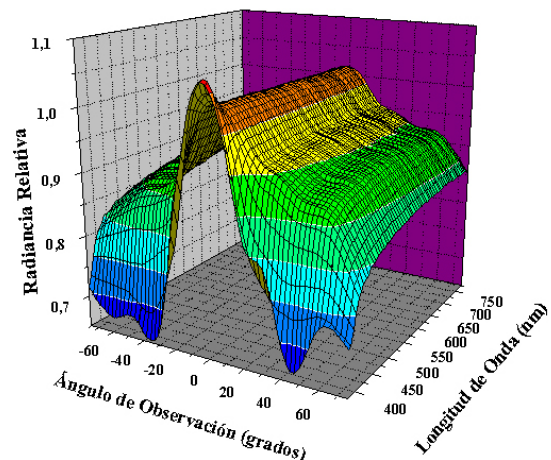


Fig. 4. Radiancia espectral relativa de la placa de cartón-yeso con acabado en vinilo en función del ángulo de observación.

También cabe destacar que en la placa con acabado de vinilo se presenta una variación menor de la radiancia con el ángulo de observación que en la placa de cartón-yeso estándar. Esto se observa mejor en la Fig. 5 donde se representa la distribución angular de la radiancia medida a 555 nm en función del ángulo de observación. El mismo comportamiento se observa para las demás longitudes de onda.

En la Fig. 6 se muestra la radiancia relativa de las muestras de cartón-yeso pintadas, comparadas con la muestra estándar sin pintar, en función del ángulo de observación para la longitud de onda de 555 nm. El comportamiento es algo diferente de un color a otro, aunque, en general, las muestras pintadas están más cercanas al difusor perfecto que la muestra estándar.

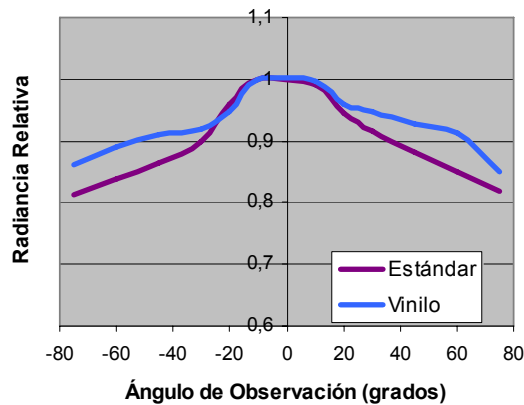


Fig. 5. Radiancia espectral relativa ($\lambda = 555$ nm) de las muestras estándar y vinilo en función del ángulo de observación.

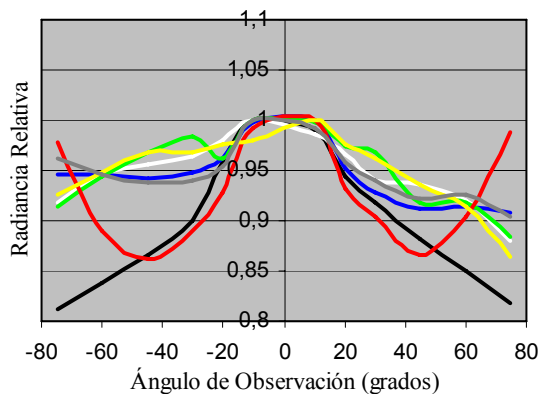


Fig. 6. Radiancia espectral relativa ($\lambda=555$ nm) de las muestras pintadas y estándar en función del ángulo de observación. El tono del trazo es representativo del de la muestra.

Por otra parte, se puede observar que las muestras que reflejan menos radiación a esta longitud de onda son las que reproducen mejor el perfil angular de la muestra estándar y cuanto menos reflejan más se aproximan (caso de la muestra roja), lo cual es coherente con que la luz es absorbida a esta longitud de onda por la película de pintura. Pero el aumento de la radiancia para estas dos muestras para los ángulos mayores pondría de manifiesto que el mecanismo de absorción disminuye su eficacia al aumentar el ángulo o no se trata de una absorción sin más.

Para analizar con más detalle los cambios con el ángulo de observación de las muestras se han calculado, para cada ángulo de observación, las coordenadas de color de las muestras en el espacio CIELAB 1976 correspondientes al Observador Patrón CIE 1964 y al Iluminante A, puesto que el estudio se realiza para ambientes interiores. En la Tabla I se dan dichas coordenadas de color. El cálculo se ha realizado como recomienda la CIE [6] partiendo del factor de radiancia definido por la ecuación 1.

TABLA I

Coordenadas de color de las muestras para el ángulo de observación de 10° , calculadas para el iluminante A y el observador CIE 1964.

Muestras	L^*	a^*	b^*
Estándar	85,39	2,82	6,74
Vinilo	92,27	0,61	4,51
Blanco	94,88	-0,10	0,29
Verde	67,47	-33,97	43,03
Rojo	59,71	55,86	51,94
Amarillo	93,01	2,46	60,73
Azul	60,87	-32,47	-44,00
Gris	59,23	-0,11	-0,20

A partir de estos valores también se ha calculado la diferencia de color total CIELAB entre el ángulo de observación de 10° , que se toma como referencia, y los demás. Dada la simetría de las muestras con respecto al ángulo acimutal, sólo se presentan (Fig. 7) los resultados para valores positivos del ángulo de observación. Por este mismo motivo se toma como referencia las coordenadas cromáticas para el ángulo de 10° que es el de máxima radiancia.

En la Fig. 7 se puede observar, en primer lugar, que las diferencias de color son perceptibles, pues superan una unidad CIELAB en todos los casos. En la muestra estándar la diferencia de color es aproximadamente proporcional al ángulo de observación. Las muestras pintadas presentan una menor variación de color que la muestra de cartón-

yeso estándar, excepto la muestra amarilla para el ángulo mayor. Asimismo, correspondiendo con el perfil espectral observado en las Figs. 3 y 4, la muestra recubierta de vinilo presenta también una variación de color con el ángulo de observación menor que la estándar. Por último, notar que las muestras pintadas presentan un aumento notable de diferencia de color cuando el ángulo de observación es mayor que 60°, aproximadamente.

En la Fig. 8, se presenta el valor de la coordenada L^* de cada muestra para cada ángulo de observación. Se puede ver que esta coordenada decrece con el ángulo de observación, como cabía esperar de las medidas angulares de radiancia. También se observa que la dependencia con el ángulo de observación es parecida para todas las muestras pintadas, que parecen presentar un cambio de curvatura en la gráfica, cosa que no se observa en la gráfica de la placa estándar, por lo que cabe suponer que este cambio de curvatura es atribuible a la capa de pintura.

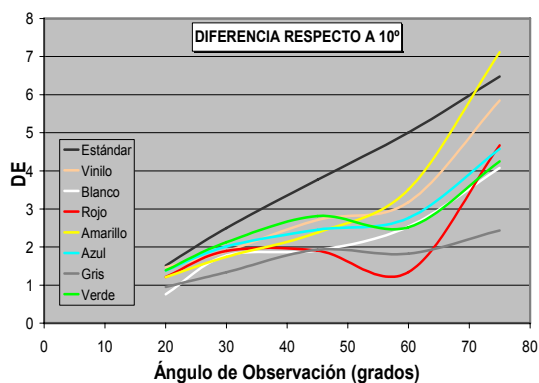


Fig. 7. Variación de la diferencia de color entre cada ángulo acimutal y el de 10°.

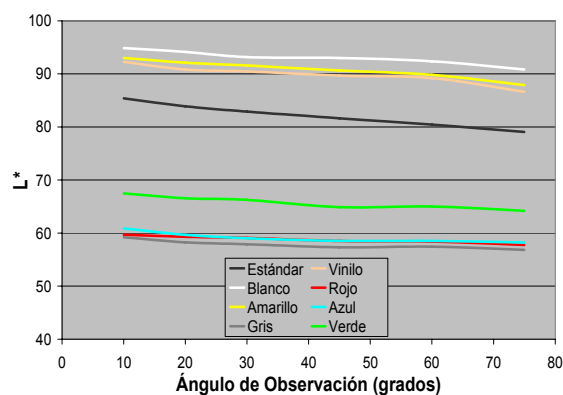


Fig. 8. Variación de la coordenada L^* en función del ángulo de observación.

En la Fig. 9 se representa el croma C^*_{ab} de cada muestra para cada ángulo de observación. Se observa que las muestras tienen una variación suave de croma y que presentan un ligero valor máximo aproximadamente alrededor del ángulo de observación de 45°, para decrecer después al aumentar el ángulo de observación. Este resultado también está de acuerdo con lo observado en la distribución espectral de la radiancia medida, que presentaba una ligera variación en su forma con el ángulo de incidencia. La combinación de las Figs. 8 y 9 explica el aumento mayor de las diferencias de color para los mayores ángulos de observación.

En la Fig. 10, se representa la variación del ángulo de tono relativa al ángulo de 10° para los distintos ángulos de observación. Se puede observar que cada muestra tiene un comportamiento diferente, si bien las variaciones del ángulo de tono son siempre menores que $\pm 1^\circ$, excepto para la muestra estándar que presenta una variación mayor y creciente con el ángulo de observación y la muestra de vinilo en el caso de los ángulos mayores que 60°.

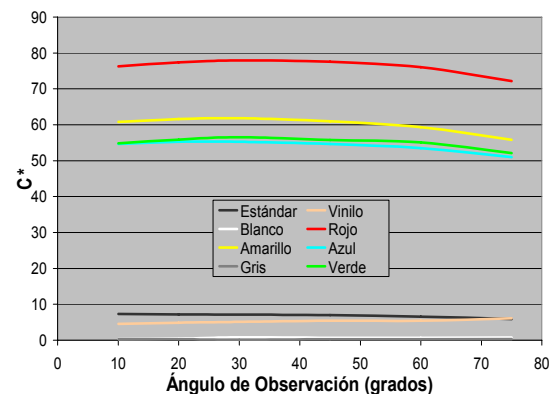


Fig. 9. Croma de cada muestra en función del ángulo de observación.

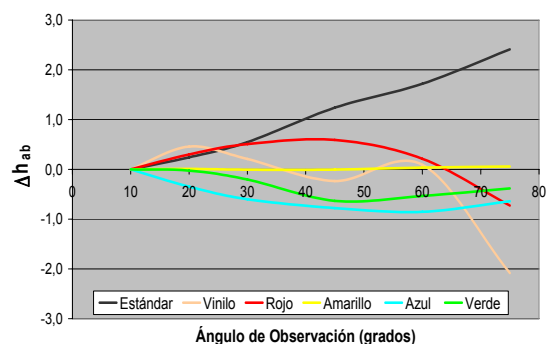


Fig. 10. Variación relativa de tono en función del ángulo de observación.

4. Conclusión

La distribución espacial del factor de radiancia de las muestras de cartón-yeso estudiadas no se comporta como la del difusor perfecto, siendo mayor el cambio a las longitudes de onda más cortas. No obstante, las muestras pintadas están más cercanas al difusor perfecto que las estándares.

Al calcular la diferencia de color CIELAB entre los distintos ángulos de observación y la dirección acimutal 10° para cada muestra medida, se observa que, en general, la diferencia de color crece con el ángulo de observación. La claridad de las muestras, L^* , disminuye monótonamente al aumentar el ángulo de observación en todas las muestras, mientras que el croma C^*_{ab} cambia de forma más suave con el ángulo de observación observándose un

ligero máximo en las muestras cromáticas alrededor del ángulo de 45° . Para ángulos mayores de 60° el croma varía más que para los ángulos menores, lo que unido al cambio observado en la claridad, explica el aumento de la diferencia de color para ángulos acimutales grandes. Por último, señalar que en las muestras pintadas el cambio en el ángulo de tono es muy pequeño, mientras que en la muestra estándar el cambio es creciente con el ángulo de observación.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Sr. Rosendo da Silva de Knauf GmbH (Delegación de Madrid) el haberles proporcionado las muestras utilizadas en este trabajo.